

DERWENT-ACC-NO: 2002-753881

DERWENT-WEEK: 200282

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Friction stir processing method for  
arc-welding involves applying argon gas to welding portion  
to remove air or liquid at welding portion

PATENT-ASSIGNEE: HITACHI LTD[HITA]

PRIORITY-DATA: 2001JP-0050357 (February 26, 2001)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES	MAIN-IPC	
JP 2002248583 A	September 3, 2002	N/A
006	B23K 020/12	

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
JP2002248583A	N/A	2001JP-0050357
February 26, 2001		

INT-CL (IPC): B23K020/12, B23K020/14

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2002248583A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - The air or liquid at the welding portion (5) is removed by applying argon gas (3) to the welding portion.

DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is included for friction stir processing apparatus

USE - For arc-welding

ADVANTAGE - Deformation of the tool after the joining process

is prevented.

Degradation of the characteristics such as oxidation and embrittlement is prevented. Thermal failure is reduced reliably.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a sectional view of the friction stir processing apparatus.

Argon gas 3

Welding portion 5

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/5

TITLE-TERMS: FRICTION STIR PROCESS METHOD ARC WELD APPLY  
ARGON GAS WELD PORTION  
REMOVE AIR LIQUID WELD PORTION

DERWENT-CLASS: M23 P55

CPI-CODES: M23-D01; M23-E01;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C2002-214071

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2002-593710

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 許出願公開番号

特開2002-248583

(P2002-248583A)

(43)公開日 平成14年9月3日(2002.9.3)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード(参考)
B 2 3 K 20/12 20/14	3 1 0	B 2 3 K 20/12 20/14	3 1 0 4 E 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2001-50357(P2001-50357)

(22)出願日 平成13年2月26日(2001.2.26)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 岡村 久宜

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 坂本 征彦

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

Fターム(参考) 4E067 AA03 AA04 AA05 AA06 AA07

AA13 BC00 DB02 DB07 EB00

EB02 EB06 EC01 EC06 EC13

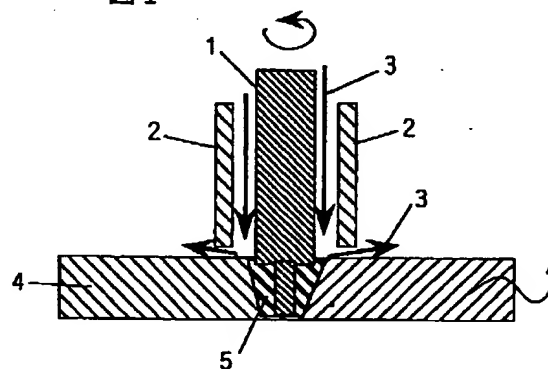
(54)【発明の名称】 摩擦攪拌加工方法及びその装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】接合及び加工後の変形及び変形に伴う接合欠陥並びに酸化を防止でき、長時間の接合においても熱的な破損を減少できる摩擦攪拌加工方法及びその装置を提供する。

【解決手段】被加工物よりも硬い材質の回転ツール1を回転させながら前記被加工物に挿入し、前記回転ツール1と被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中又は液体中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工方法において、前記接合又は加工の最中常に接合部5又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガス3によって排除する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】被加工物よりも硬い材質の回転ツールを回転させながら前記被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中又は液体中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工方法において、前記接合又は加工の最中常に接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除することを特徴とする摩擦攪拌加工方法。

【請求項2】被加工物よりも硬い材質の回転ツールを回転させながら前記被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工方法において、前記接合又は加工の最中常に接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除すると共に、前記接合部又は加工部の前記非酸化性ガスの外側に液体冷媒を噴射して冷却しながら前記接合又は加工することを特徴とする摩擦攪拌加工方法。

【請求項3】請求項1又は2において、前記非酸化性ガスを前記回転ツールの前記挿入部分の全周を覆いながら前記被加工物表面に噴射させることを特徴とする摩擦攪拌加工方法。

【請求項4】請求項2又は3において、前記液体冷媒の噴射を前記接合又は加工方向の前後の少なくとも一方で行うことを特徴とする摩擦攪拌加工方法。

【請求項5】被加工物よりも硬い材質の前記被加工物への挿入部と該挿入部より大径のショルダー部とを有する回転ツールを回転させながら被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中又は液体中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工装置において、前記回転ツールは接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除するシールド手段を備えていることを特徴とする摩擦攪拌加工装置。

【請求項6】被加工物よりも硬い材質の前記被加工物への挿入部と該挿入部より大径のショルダー部とを有する回転ツールを回転させながら被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工装置において、前記回転ツールは接合部又は加工部の大気を非酸化性ガスによって排除するシールド手段と、該シールド手段の外側に液体冷媒を噴射させる液体冷媒噴射手段とを備えていることを特徴とする摩擦攪拌加工装置。

【請求項7】請求項6において、前記シールド手段は前記回転ツールの前記ショルダー部の全周を覆い、前記非酸化性ガスを前記被加工物表面に噴射させるように前記回転ツールに設けられていることを特徴とする摩擦攪拌加工装置。

【請求項8】請求項6又は7において、前記液体冷媒噴射手段は前記接合又は加工の方向の前後の少なくとも一

方に備えていることを特徴とする摩擦攪拌加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、新規な摩擦攪拌加工方法及び装置に関し、特に加工後による酸化及び変形並びに加工によって生じる欠陥を防止し、被加工部の品質を改善する摩擦攪拌加工方法とその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】摩擦攪拌加工方法は、実質的に被加工物の材質よりも硬い材質の回転ツール(金属棒)を加工部に挿入し、この回転ツールを回転させながら移動するか又は被加工物自体を移動することによって、回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱により接合又は加工する方法である。これは、特公表7-505090号公報(EP0615480B1)で公知である。つまり、回転ツールと被加工物との摩擦熱による塑性流動現象を利用したもので、アーク溶接のように被加工物を溶かして溶接するものではない。このため、金属の融点以下で接合できるなど多くの利点がある。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】特公表7-505090号公報の摩擦攪拌接合方法は、回転ツールと被加工物との間によって生じる摩擦熱によって接合または加工する。その接合方法は特にアルミニウム合金に適している。しかし、前記接合方法で被加工物を接合した場合、次のような課題が生じる。

【0004】アルミニウム合金でも被加工物の接合長さが長い場合又は厚さが厚い場合、または被加工物の剛性が高い銅又は鉄鋼を接合、又は加工する場合、回転ツールと被加工物との摩擦熱が大きくなる。このため、接合または加工後の変形(ひずみ)が大きくなり、変形に伴う欠陥も生じやすくなる。さらに、前記回転ツールの温度も高くなるため、熱的な破損も頻繁に生じる。

【0005】摩擦攪拌加工方法によって大気中又は水中で加工する場合、接合部及び加工部の表面に空気又は水分が直接接触するため、特に加工材表面の酸化が激しく、製品としての品質及び美観の低下になる。これは特に鉄系、チタン合金系、マグネシウム合金系、ジルコニウム合金系の場合に顕著である。

【0006】本発明の目的は、接合及び加工後の変形及び変形に伴う接合欠陥並びに酸化を防止でき、長時間の接合においても熱的な破損を減少できる摩擦攪拌加工方法及びその装置を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、摩擦攪拌によって大気中又は液体中で接合又は加工する場合、回転ツールの先端部の接合部又は加工部近傍を空気や空気中の水分を遮蔽するシールド管で覆い、前記シールド管の中を不活性ガスで満し、接合又は加工の最中常に接合部又は加工部に噴射させるた状態で接合または加工すること

によって達成できる。一方、液体中での接合又は加工として、水中、油中、ガスなどの冷却材の中で前記摩擦攪拌加工方法によって接合する場合、回転ツール及び加工部近傍を前記冷却材を遮蔽するシールド管で覆い、前記シールド材の中を不活性ガスで満たした状態で接合または加工することによって達成できる。

【0008】本発明は、被加工物よりも硬い材質の回転ツールを回転させながら前記被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中又は液体中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工方法において、前記接合又は加工の最中常に接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除することを特徴とする。

【0009】又、本発明は、被加工物よりも硬い材質の回転ツールを回転させながら前記被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工方法において、前記接合又は加工の最中常に接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除すると共に、前記接合部又は加工部の前記非酸化性ガスの外側に液体冷媒を噴射して冷却しながら前記接合又は加工することを特徴とする。

【0010】前記非酸化性ガスを前記回転ツールの前記挿入部分の全周を覆いながら前記被加工物表面に噴射させること、又、前記液体冷媒の噴射を前記接合又は加工方向の前後の少なくとも一方で行うことが好ましい。

【0011】本発明は、被加工物よりも硬い材質の前記被加工物への挿入部と該挿入部より大径のショルダー部とを有する回転ツールを回転させながら被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中又は液体中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工装置において、前記回転ツールは接合部又は加工部の大気又は液体を非酸化性ガスによって排除するシールド手段を備えていることを特徴とする。更に、本発明は、被加工物よりも硬い材質の前記被加工物への挿入部と該挿入部より大径のショルダー部とを有する回転ツールを回転させながら被加工物に挿入し、前記回転ツールと被加工物との間で発生する摩擦熱によって前記被加工物を大気中にて接合又は加工する摩擦攪拌加工装置において、前記回転ツールは接合部又は加工部の大気を非酸化性ガスによって排除するシールド手段と、該シールド手段の外側に液体冷媒を噴射させる液体冷媒噴射手段とを備えていることを特徴とする。

【0012】前記シールド手段は前記回転ツールの前記ショルダー部の全周を覆い、前記非酸化性ガスを前記被加工物表面に噴射させるように前記回転ツールに設けられていること、又、前記液体冷媒噴射手段は前記接合又は加工の方向の前後の少なくとも一方に備えていることが好ましい。

【0013】

【作用】回転ツール及び加工部近傍をシールド管で覆い、前記シールド管の中を不活性ガスで満たした状態で接合または加工することによって回転ツール及び加工部近傍を空気中の酸素、窒素、水分から遮蔽できる。このため、接合部及び加工部の酸化、ぜい化、硬化などを防止できる。

【0014】一方、水中またはオイルまたはガスなどの冷却材の中で接合または加工する場合、前記回転ツール及び加工部近傍を前記冷却材を遮蔽するシールド管で覆い、前記シールド管の中を不活性ガスで満たした状態で接合または加工することにより前記冷却材に直接接触することなく加工できる。このため、水中においても接合または加工部に酸化、ぜい化、硬化などを発生することなく、接合部および加工部以外の部分を冷却材で効率的に冷却できる。従って、加工部材の温度、変形を減少できる。さらに回転ツールの熱的損傷も低減できる。

【0015】

【発明の実施の形態】（実施例1）図1はアルミニウム合金からなる接合材を大気中で摩擦攪拌接合する場合の実施例を示す断面図である。前記回転ツール1は回転した状態で前記細い部分が被接合材4の接合部5に挿入され、回転した状態で接合線方向に移動することにより摩擦熱と接合材の塑性流現象で接合される。本発明では回転ツール1及び接合部の近傍から大気中の空気または水分を遮蔽するため、回転ツール1をシールド管2で覆い、前記シールド管2の中にアルゴンガス3を流した状態で接合する。前記回転ツール1の先端部分は細く加工されている。この先端部の直径は5mm、太い部分の径は15mmである。ここで、前記回転ツール1を覆うシールド管2の内径は前記回転ツールの外径より大きい50mmである。回転ツール1は、被接合材4に挿入される被接合材4より硬い工具鋼等よりなる挿入部と、挿入部と同等の材質でそれより大径のショルダー部とを有するものである。

【0016】なお、前記シールド管2は接合の過程で300℃以上の高温になるため、耐熱性のカーボン繊維を布状に成型して造られている。アルゴンガスは接合の間、連続的に流され、大気中に放出される。ここで、アルゴンガスの流量を調節することによりシールド管の内部圧力を大気圧より高くキープできる。これによって、回転ツール1と接合部5を大気から遮蔽できるため、回転ツール1と接合部5の表面の酸化を防止できる。さらに、回転ツール1の熱的損傷の減少及び接合後の接合材4の変形を減少できる。本実施例で用いた接合材4はその厚さ8mm、幅が500mm、長さ5000mmのアルミニウム合金(JIS規格A5083)、回転ツールの回転数は1000rpm、移動速度は300mm/min、アルゴンガス流量は20リットル/minである。

【0017】（実施例2）本実施例では実施例1と同様の本発明によってマグネシウム合金、ジルコニウム合金、鉄合金の各々を大気中において突合せ接合する場合について説明する。実施例1と同様に回転ツールと接合

部近傍を大気の水蒸気又は水分から遮蔽するため、回転ツールと接合部近傍をシールド管で覆い、前記シールド管の中にアルゴンガスを流した状態で接合する。この結果、いずれの接合材も表面に酸化と欠陥の見られない良好な接合体が得られることを確認している。

【0018】(実施例3)図2は鋳造によって製作された鉄合金からなる円筒管6を大気中で加工部の近傍に水をかけながら摩擦攪拌加工する場合の実施例を示す斜視図である。本実施例では前記鋳造合金の内部に存在する気泡欠陥の補修が目的である。前記円筒管6の内部に存在する気泡欠陥は前記回転ツール1の回転によって攪拌と圧縮されて無くなる。回転ツール1及び加工部の近傍から水分を遮蔽するため、回転ツール1をシールド管2で覆い、前記シールド管2の中にアルゴンガス3を流し、円筒管6の加工部表面にアルゴンガス3を噴射させた状態で加工する。さらに加工部の近傍を強制的に冷却するため、アルゴンガス3の外側で加工部の近傍に水7を注ぎながら加工する。

【0019】前記回転ツール1の先端部分は細く加工され、先端部の径5mmは、太い部分の径15mmである。ここで、前記回転ツール1を覆うシールド管2の内径は前記回転ツール1の外径よりわずかに大きい50mmである。なお、前記シールド管2は耐熱性のカーボン繊維を布状に成型して造られている。前記回転ツール1は回転した状態で前記細い部分が加工部に挿入した後、円筒管6を回転して移動することにより加工される。

【0020】アルゴンガス3は加工の間、常時流され、接合材とシールド管の空隙から外部に放出される。このアルゴンガス3の流量を調節することにより前記シールド管1の内部の圧力を自動的に調節できる。これにより、加工部の近傍に外部からの水の侵入を遮蔽できる。

【0021】本実施例における回転ツール1の回転数は1000rpm、円筒管の移動速度は300mm/minである。本発明によって前記鋳造合金の表面の酸化を防止し、かつ、前記鋳造合金の内部に存在する気泡欠陥が補修できる。さらに、アルゴンガス3と水冷7によって回転ツール1と接合部近傍を効率的に冷却できるため、回転ツール1の熱的損傷の減少及び加工後の円筒管6の変形を減少できる。

【0022】(実施例4)図3は、Nb-Ti合金からなる超伝導線材8が純銅からなる安定化材9の中に埋め込まれた超伝導コイルを水中10で接合する場合の断面図である。Nb-Ti合金の超伝導線材8は300℃以上の温度では超伝導特性が失われるため、30℃以下で接合する必要がある。このため、本実施例では10℃の水槽11の中で摩擦攪拌接合するものである。

【0023】本実施例においては、前記回転ツール1を透明なアクリル系の筒から造られるシールド管2で覆い、このシールド管2の中にアルゴンガス3を流した状態で水中で接合する。回転ツール1の先端部分は細く加工

され、先端部の径2mmは、太い部分の径6mmである。この細い部分が銅安定化材9の突合せ接合部に挿入され、回転しながら接合線方向に移動して接合される。なお、回転ツール1の外径は6mmのため、前記回転ツール1を覆うシールド管2の内径は前記回転ツール1の外径より大きい15mmである。

【0024】アルゴンガス3は接合の間、連続的に流され、シールド管2と安定化材9との表面の空隙から順次水中に排出される。ここで、アルゴンガス3の流量を調節することによりシールド管2の中の圧力を外部の水圧より高くできるため、シールド管2の中には水の侵入はない。従って、接合部の近傍は水との接触がないため、安定化材の純銅の表面の酸化は全く見られない。本実施例では回転ツール1の温度は300℃以下、超伝導線材8の近くの温度は200℃以下に冷却されるため、超伝導特性を損なうことなく接合できる。さらに、接合後の変形も本発明を実施しない場合に比べて1/5以下に減少できる。なお、回転ツールの回転数は1000rpm、移動速度は500mm/min、アルゴンガスの流量は30リッター/minである。

【0025】(実施例5)接合材としてマグネシウム合金、ジルコニウム合金、鉄合金の各々を水中で摩擦攪拌接合する実施例について説明する。本実施例では前記実施例4と同じく回転ツール及び接合部近傍を水から遮蔽するため、回転ツールと接合部近傍を透明なアクリル製のシールド管で覆い、前記シールド管の中にアルゴンガスを流した状態で接合する。この結果、接合材の表面に酸化と変形の見られない良好な接合体が得られる。

【0026】(実施例6)本実施例では厚さ40mm、幅100mm、長さ500の鋳造で造られたアルミニウム合金(JIS規格ADC10)の内部に存在する気泡欠陥を本発明によって水中で補修する場合について説明する。前記アルミニウム合金の内部に存在する気泡欠陥は前記回転ツールの回転によって前記合金の内部が攪拌・圧縮されるため無くなる。本実施例においては前記回転ツールを金属繊維を布状に成型して造られたシールド管で覆い、このシールド管の中に窒素ガスを流した状態で水中で補修する。本実施例における回転ツールの外径は30mmのため、前記回転ツールを覆うシールド管の内径は前記回転ツールの外径より大きい50mmである。

【0027】ここで、シールド管内の圧力はアルゴンガスの流量を調節することにより水中の水圧より高く保持できるため、前記シールド管の中には水の侵入はない。従って、加工部の近傍は水との接触がないため、前記アルミニウム合金表面及び補修後の内部にも酸化は全く見られない。また、補修後の変形も本発明を実施しない場合に比べて1/10以下に減少できる。さらに、回転ツールも窒素ガスで強制的に冷却されるため、回転ツールの温度は300℃以下にキープできる。従って、回転ツールの熱的な損傷もない。本発明によって補修したアルミニウム合金を自動車用の部品として適用できる。

【0028】(実施例7)図4に示す本実施例では、厚さ50mm、高さ6000mm、直径5000mmの円筒状のステンレス製容器の表面近傍に存在する微小な亀裂を水中で補修する場合について説明する。前記ステンレス鋼12の表面に発生している亀裂欠陥13は、亀裂部13を前記回転ツール1の回転と移動によって亀裂部が攪拌と圧縮されて無くなる。図4に示すように、回転ツール1はステンレス鋼12の断面に対して横向き(水平)方向に配置されている。前記回転ツール1を覆うシールド管2は耐熱製の透明なガラスで造られている。シールド管2は先端部が未広がり

のラッパ状である。  
【0029】これにより加工中の加工状態を観察できる、このシールド管2の中にアルゴンガス3を流した状態で水中で亀裂を補修する。本実施例における回転ツール1の外径は15mmのため、前記回転ツール1を覆うシールド管2の内径は前記回転ツールの外径より大きい50mmである。アルゴンガス3は前記シールド管2内に連続的に流され、シールド管2と前記ステンレス合金表面12との空隙から順次、水中に排出される。ここで、シールド管の中には圧力センサ、温度センサ、湿度センサさらに加工状態を観察するためのCCDカメラが配置されている。これにより、加工過程の加工状態の物理的情報並びに肉

眼的観察ができる。  
【0030】例えば、水中において回転ツール1の水深さが変化した場合、シールド管の内部の圧力はアルゴンガスの流量を自動的に調節することにより常に水圧より高く保持できる。このため、前記シールド管の中には水の侵入はない。従って、亀裂部の近傍は水との接触がないため、前記ステンレス鋼及び補修後の内部にも酸化と欠陥は全く見られない。さらに、回転ツールの温度は300℃以下に冷却されるため長い時間の間、熱的な損傷もない。なお、本発明では、回転ツールだけでなく回転ツールの回転と移動用の駆動機構さらに一部の制御機構もシールド管で覆われ、水の浸入を防止する機構が設けられている。さらに、前記摩擦攪拌加工装置、水シールド機構、起動機構は上下、左右の移動が可能なロボットに取付けられ、原子炉用機器の内部及び船舶などの欠陥の補修または接合を水中で効率的にできる。

【0031】(実施例8)本発明を蒸気タービン翼の亀裂の補修への適用例について説明する。図5は摩擦攪拌加工方法で蒸気タービン翼の亀裂を補修する場合の斜視図を示す。前記タービン翼14の表面近傍に発生している亀裂欠陥13は、亀裂部を前記回転ツール1の回転と移動によって亀裂部が攪拌と圧縮されて無くなる。前記回転

ツール1を覆うシールド管2は耐熱製の透明なガラスで造られている。これにより加工中の加工状態を観察できる。このシールド管2の中にアルゴンガス3を流した状態で大気中で亀裂を補修する。シールド管2は先端部が未広がり

のラッパ状である。  
【0032】本実施例における回転ツール1の外径は10mmのため、前記回転ツール1を覆うシールド管2の内径は前記回転ツールの外径より大きい40mmである。アルゴンガス3は前記シールド管2内に連続的に流され、シールド管2と前記タービン翼14の表面との空隙から順次大気中に排出される。ここで、アルゴンガスの流量を調節することによりシールド管の中の圧力は常に大気圧より高い状態キープすることができる。このため、前記シールド管2の中に大気中の空気や水分の侵入はない。従って、亀裂部の近傍は空気や水との接触がないため、加工部近傍の表面酸化が防止できる。さらに、回転ツールの温度は300℃以下に冷却されたため長い時間の間、熱的な損傷もない。なお、本実施例では、前記摩擦攪拌加工装置、シールド機構、駆動機構は上下、左右の移動が可能なロボットに取付けられ、前記タービン翼の表面形状に沿って移動する。なお、前記加工装置を固定して前記タービン翼を移動ロボットに取付けて移動しても本目的を達成できる。

#### 【0033】

【発明の効果】本発明によれば、接合及び加工後の変形並びに変形に伴う接合欠陥を防止でき、又加工材の酸化、ぜい化、硬化などの特性の劣化が防止できる。更に、ジルコニウム合金、チタン合金、マグネシウム合金などの酸化性が高い金属の加工において加工後の酸化を水中で行うことによって防止できる。一方、回転ツールを効率的に冷却できるため、長時間の接合においても熱的な破損を減少できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例を示す断面図。

【図2】 本発明の実施例を示す斜視図。

【図3】 本発明の実施例を示す断面図。

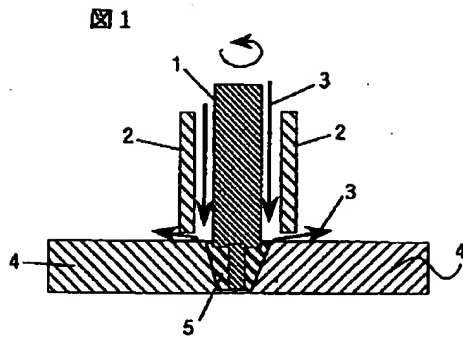
【図4】 本発明の実施例を示す斜視図。

【図5】 本発明の実施例を示す斜視図。

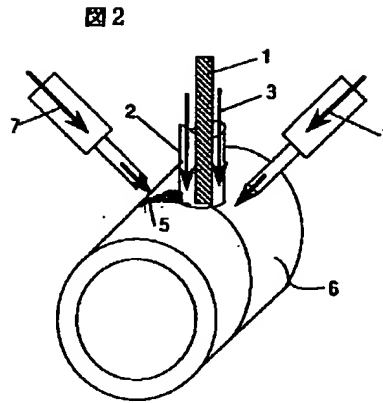
#### 【符号の説明】

1…回転ツール、2…シールド管、3…アルゴンガス、4…接合材、5…溶接部、6…円筒管、7…水、8…超伝導線材、9…銅安定化材、10…水、11…容器、13…亀裂、14…蒸気タービン翼。

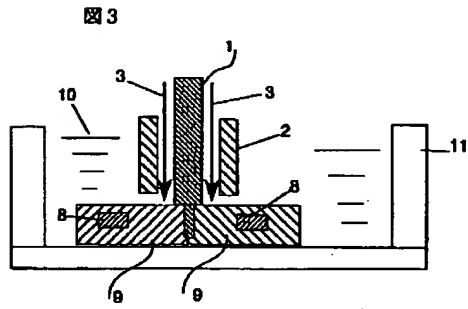
【図1】



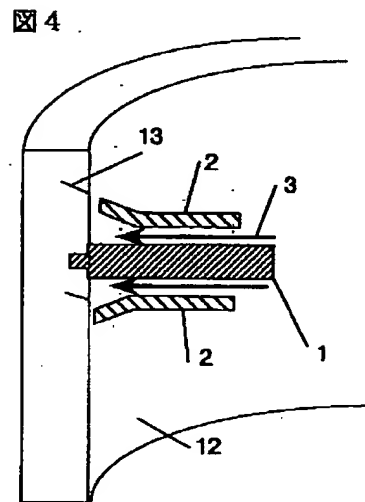
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

